

(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität in Prag.)

## Die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme.

Von

Privatdozent Dr. **R. H. Kahn.**

(Mit 2 Textfiguren und Tafel XVII.)

Die Registrierung der Herztöne ist eine Errungenschaft der neueren Zeit. Die heissen Bemühungen, dieses schwierige Ziel zu erreichen, sind erst vor kurzem von Weiss<sup>1)</sup> ausführlich geschildert worden. Die Resultate der verschiedenen Untersuchungen, deren allgemeine Bekanntmachung infolge der Unmöglichkeit geeigneter Reproduktion der Versuchsergebnisse zum Teile grossen Schwierigkeiten begegnet, scheinen vorläufig alle zwar zum weiteren Ausbau der Versuchstechnik zu ermutigen, sie müssen aber bezüglich mancher Punkte noch als wenig befriedigend betrachtet werden.

So macht neuestens Gerhartz<sup>2)</sup> auf die recht verwunderliche Unstimmigkeit in den Versuchsergebnissen von Einthoven und Weiss bezüglich der Schwingungszahlen in den von den beiden Autoren vorgeführten Schallbildern aufmerksam, einen Umstand, für welchen er Eigenschwingungen der benützten Apparate verantwortlich macht. Wenn dieser Autor aber die bereits in der Literatur vorhandenen Herztonkurven lediglich als Erscheinungen bezeichnet, welche nach Reduktion des Spitzenstosses durch Öffnung des Zuleitungssystemes von der Spitzenstosskurve übrigbleiben, so geht er entschieden zu weit. Auch sind die mit den verschiedenen Methoden erzielten Resultate zum Teile durch Abhören der Töne von solchen Stellen der Brustwand gewonnen worden, bei denen ein Einfluss des Spitzenstosses selbst ganz ausgeschlossen ist. Immerhin ermahnen die Ausführungen von Gerhartz mit Recht zur Vorsicht.

---

1) O. Weiss, Phonokardiogramme. G. Fischer, Jena 1909.

2) H. Gerhartz, Herzsallstudien. Pflüger's Arch. Bd. 131 S. 509. 1910.

Von den in Betracht kommenden Registriermethoden besitze ich nur mit einer, der Einthoven'schen<sup>1)</sup> eigene Erfahrung und teile im Folgenden Einiges aus meinen bisherigen Resultaten mit.

Einthoven's Methodik besteht in der Zuleitung des Herztöne zu einem Mikrophole, der Transformierung der Stromesschwankungen durch ein Induktorium und der Registrierung der Sekundärströme durch das Saitengalvanometer.

Mit einer solchen, ziemlich roh improvisierten Vorrichtung habe ich<sup>2)</sup> schon vor längerer Zeit das Elektrokardiogramm und die Herztöne gleichzeitig registriert. Die damaligen recht mangelhaften Ergebnisse genügten zur Feststellung der Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme. Es konnte festgestellt werden, dass der erste Herzton in die Pause zwischen *R* und *T* fällt. Er beginnt zugleich mit dem Anstiege des Ventrikeldruckes in dem Momente, in welchem die *R*-Zacke verschwindet, und endet kurze Zeit vor dem Ansteigen von *T*. Es ergab sich weiter, dass der zweite Herzton etwa 0,05 Sek. nach dem Ende der Nachschwankung beginnt<sup>3)</sup>.

Meine damals gewonnenen Kurven waren, wie gesagt, wenig befriedigend. Seitdem habe ich meine Aufstellung der Apparate zur Registrierung der Herztöne wesentlich verbessert und dadurch viel brauchbarere Resultate erhalten.

Das Mikrophon steht jetzt in der Julius'schen<sup>4)</sup> Aufhängung. An drei langen Stahldrähten ist eine Holzscheibe horizontal befestigt, von deren Mittelpunkt eine Metallstange nach abwärts führt. An dieser ist ein schweres Bleigewicht derart befestigt, dass es in vertikaler Richtung verstellbar ist. Auf der Holzscheibe steht das Stativ, welches das Mikrophon trägt, und das Bleigewicht hat eine

---

1) W. Einthoven und M. A. J. Geluk, Die Registrierung der Herztöne. Pflüger's Arch. Bd. 57 S. 617. 1894 — W. Einthoven, Die Registrierung der menschlichen Herztöne mittels des Saitengalvanometers. Pflüger's Arch. Bd. 117 S. 461. 1907. — W. Einthoven, Ein dritter Herzton. Pflüger's Arch. Bd. 120 S. 31. 1907.

2) R. H. Kahn, Weitere Beiträge zur Kenntnis des Elektrokardiogrammes. Pflüger's Arch. Bd. 129 S. 291. 1909.

3) Diese Resultate hat Gerhartz unter teilweiser Verwendung meiner früheren Versuchsergebnisse im allgemeinen bestätigt.

4) W. H. Julius, Über eine Vorrichtung, um Messinstrumente gegen die Erschütterungen des Bodens zu schützen. Wiedemann's Annalen der Physik Bd. 56. S. 151. 1895.

solche Stellung, dass der Schwerpunkt des ganzen Systemes in die Aufhängungsebene fällt. Die Stahldrähte sind etwa 4 m lang und mit ihren oberen Enden an einer festen Konsole befestigt, welche unter der Zimmerdecke in einer Ecke der Zimmerwände angeschraubt ist. Drei von der Peripherie der Holzscheibe nach abwärts reichende Stäbe sind mit grossen, lockeren Wattebüschen armiert und tauchen in untergestellte, mit einer Mischung aus Glycerin und Wasser gefüllte Glasgefässe, ohne die Wand oder den Boden derselben zu berühren.

Die Erschütterungsfreiheit des Mikrophons ist befriedigend, leider aber nicht vollkommen. Das liegt an dem Umstande, dass die ganze Lokalität, welche aus äusseren Gründen für die Aufstellung gewählt werden musste, dazu nicht sehr geeignet ist. Denn dieser Teil des Gebäudes ist Erschütterungen aus verschiedenen Ursachen besonders stark ausgesetzt.

Das Mikrophon ist ein Kugelmikrophon von F. Reiner in München (von Edelmann bezogen). Es besitzt zur Öffnung der zuleitenden Luftwege ein Ansatzrohr, welches einen in der Länge verstellbaren Schlitz aufweist.

Die Zuleitung der Herztöne zu dem Mikrophone erfolgt durch Kautschukschläuche von etwa  $\frac{3}{4}$  m Länge und erheblichem Querschnitte. In der Mitte der Schlauchleitung befindet sich ein gläsernes Zwischenstück, welches von einer in der Mauer eingelassenen dicken Eisenstange getragen wird. Leichtes Hin- und Herbewegen des freien Schlauchendes lässt das Mikrophon völlig in Ruhe. Die Abnahme der Herztöne erfolgt bei Mensch und Tier mit gewöhnlichen am Rande gut abgeschliffenen Glastrichtern, welche in ein Stativ gefasst auf die Brustwand aufgepresst werden. Beim Menschen hat sich mir auch folgendes Verfahren gut bewährt. Der Glastrichter wird durch die zentrale Öffnung einer nicht zu schweren Scheibe aus Blei hindurchgesteckt und mittels einer langen Schnur an dem Arme eines hohen Statives befestigt. Sodann wird der Stativarm so lange gesenkt, bis der Trichterrand an der gewünschten Stelle aufliegt, an welche er durch das Gewicht gut angepresst wird. Eine solche Vorrichtung bringt den erheblichen Vorteil mit sich, einerseits den Bewegungen der Brustwand bei der Atmung gut zu folgen, andererseits auch bei Rückenlage des zu Untersuchenden an abhängigen Partien der Brustwand gut anzuliegen. Bei der Aufnahme der menschlichen Herztöne hat sich mir ein Durchmesser des Trichters

von 5 cm. am besten bewährt, bei Versuchen am Hunde von 3 cm und weniger.

Weiss<sup>1)</sup> gibt an, dass der von ihm zur Aufnahme der Herztöne verwendete Trichter einen Durchmesser von 120 mm gehabt habe. Das wäre ein Trichter von einer Grösse, deren Brauchbarkeit ich mir nicht vorstellen kann. Indessen stimmen alle bei Weiss auf S. 350 angegebenen Maasse mit den Verhältnissen seiner Fig. 4 nicht überein. Entweder die Maasse sind falsch angegeben, oder die Figur ist falsch.

Die Weiterleitung zum Mikrophon erfolgt nun, wie schon erwähnt, durch Gummischlauch. Das Leitungssystem muss zur Vermeidung jeglicher Druckdifferenzen im Innern desselben, wie schon Einthoven betont hat, offen sein. Dazu genügt der an dem erwähnten Mikrophone befindliche Längsschlitz der Zuleitungsröhre auch bei grösster Öffnung desselben für die Registrierung der Spitzentöne nicht. Vielmehr empfiehlt es sich, durch Einschaltung eines *T*-Stückes auch den Schlauch seitlich zu öffnen. In meinen Versuchen befand sich an dem Schlauche zwischen dem Mikrophone und der oben erwähnten fixierten Stelle der Schlauchleitung ein seitliches kurzes Ansatzrohr von gleichem Durchmesser wie diese selbst, welches offen gehalten wurde.

Zur Transformierung der Schwankungen der Mikrophonströme dient mir völlig ausreichend ein kleines Schlitteninduktorium ohne Eisenkern. Ich halte die Verwendung eines solchen für viel zweckmässiger als die des kleinen für diesen Zweck von Edelmann angebotenen Transformators mit unveränderlichen Spulen, weil man in der Möglichkeit, den Rollenabstand zu variieren, ein willkommenes einfaches Mittel besitzt, die Grösse der Ausschläge der Galvanometersaite nach Belieben zu regulieren, ohne an den sonstigen Versuchsbedingungen etwas zu ändern. Als Mikrophonstrom diente der Strom einer Akkumulatorzelle, welcher dem Mikrophone und der I. Spule des Induktoriums durch Schliessung eines Schlüssels zugeleitet wurde, während die Verbindung zwischen der II. Spule und der Galvanometersaite durch einen Vorreiberschlüssel kurz geschlossen war. Diese letztere Anordnung ist dringend zu empfehlen, weil bei

---

1) O. Weiss und G. Joachim, Registrierung und Reproduktion menschlicher Herztöne und Herzgeräusche. Pflüger's Arch. Bd. 123 S. 341. 1908. Siehe auch: Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 98 S. 513. 1910.

Schliessung des Mikrophonstromes ein so starker Induktionsschlag die Saite trifft, dass dieselbe regelmässig beschädigt wird.

Was die Anordnung des Galvanometers und Registrierapparates in unserem Falle betrifft, so verweise ich auf meine <sup>1)</sup> früheren Arbeiten über das Elektrokardiogramm. Auch die beschriebene Anordnung zur Registrierung der Herztöne ist in dem neben dem Galvanometerzimmer gelegenen Raume angebracht; die Zuleitung von der II. Spule ist durch die Wand geführt.

Bei Verwendung einer dünnen versilberten Quarzsaite im Galvanometer, wie sie auch zur Darstellung des Elektrokardiogrammes dient, erzielt man ganz befriedigende Resultate, namentlich wenn es, wie in unserem Falle, auf getreue Wiedergabe der Schwingungszahlen, (welcher wohl noch andere in der ganzen Methodik liegende Umstände im Wege sein dürften), nicht ankommt. Nur ist es nötig, die Saite stark zu spannen. In unseren Versuchen hat dieselbe bei einem Ausschlage von 5 mm = 1 Millivolt eine Einstellungszeit von etwa 0,01 Sek.

Ich gehe nun dazu über, einiges aus den gewonnenen Resultaten vorzuführen. Die Registrierung der Spitzentöne des Menschen mit der beschriebenen Einrichtung führt zu Kurven, von denen Fig. 1 auf Taf. XVII ein Beispiel gibt <sup>2)</sup>. Man sieht hier Spitzentöne und Karotispuls eines 20jährigen, gesunden Menschen verzeichnet. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Schreibfläche, welche durch eine Stimmgabel (deren Spurlinie der Raumerparnis halber weggelassen wurde) mit hundert Schwingungen in der Sekunde kontrolliert wurde, war so geregelt, dass die Saite eines kleinen Quadrates im Mittel eine Zeit von 0,047 Sek. bedeutet, so dass die senkrechten starken Linien um etwa 0,235 Sek. voneinander abstehen. Man erkennt die Herztöne als je eine Anzahl rasch verlaufender Saitenschwingungen von verschiedener Höhe. Der erste ist von dem zweiten Tone sehr gut zu unterscheiden; Schwingungszahl und Dauer beider ist verschieden. Da aus den oben angedeuteten Gründen bezüglich der korrekten Wiedergabe der Schwingungszahlen berechtigte Zweifel nicht zu unterdrücken sind, sehen wir, zumal es für unseren Gegenstand nicht von Belang ist, von der genauen Auszählung derselben

---

1) R. H. Kahn, a. a. O. und Beiträge zur Kenntnis des Elektrokardiogrammes. Pflüger's Arch. Bd. 126 S. 197. 1909.

2) Originalabzüge von meinen Negativen stehen auf Wunsch zur Verfügung.

ab. In den Pausen zwischen den beiden Tönen und auch in der Herzpause zeigt die Saite eine recht befriedigende Ruhe, welche es gestattet, den Beginn der Töne sehr genau, ihr Ende namentlich bei Berücksichtigung grösserer Reihen, welche uns zur Verfügung stehen, ebenfalls genügend genau festzustellen. Der erste Ton dauert länger als der zweite; die ganzen Reihen stimmen mit den Einthoven'schen sehr gut überein.

Die Kurvenlinie über der Herztonkurve zeigt den Karotispuls an. Sie wurde mit der Trichtermethode gewonnen; der Trichter war durch ein durch die Zimmerwand geführtes Bleirohr mit einer Marey'schen Trommel verbunden, deren Schreibhebel seinen Schatten auf den Registrierspalt warf. Eigens angestellte Versuche ergaben, dass durch diese Leitung der Karotispuls gegenüber der Saitenbewegung um ca. 0,015" verspätet erschien. Es ist also der vordere Fusspunkt (Beginn) der Karotispulskurve etwa um ein Drittel der Seite eines kleinen Quadrates nach links (die Kurven sind von links nach rechts zu lesen) vorzuschieben.

Aus einer grösseren Reihe registrierter Spitzentöne ergibt sich die Dauer des I. Tones zu 0,109 Sekunden, die des II. Tones zu 0,081 Sekunden, während die Distanz ihres Beginnes 0,334 Sekunden beträgt. Das sind Werte, welche mit den von anderer Seite bisher erhobenen ganz gut übereinstimmen.

Was nun den Beginn des ersten Herztones im Verhältnisse zu dem Beginne des Karotispulses anlangt, so finde ich in meinen Kurven einen mittleren Zeitwert von 0,099 Sekunden, welcher zwischen beiden verfliesst<sup>1)</sup>. Davon soll noch weiter unten die Rede sein.

An der Hand der zeitlichen Beziehung zwischen erstem Herzton und Karotispuls lässt sich die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme feststellen, indem man das letztere mit dem Karotispulse zeitlich vergleicht. Unmittelbar nach jener Herztonregistrierung, welche eben vorggeführt wurde, zeigte die Registrierung des Elektrokardiogrammes derselben Person Verhältnisse, von denen Fig. 2 der Taf. XVII ein Beispiel gibt. Es wurde in Einthoven's Abteilung II (rechte Hand, linker Fuss) vom Galvanometer abgeleitet und zugleich in der oben geschilderten Weise der Karotispuls verzeichnet.

---

1) Alle auf den Karotispuls bezüglichen Zeitwerte sind korrigiert (— 0,015") angegeben.

Man sieht ein wohlausgebildetes Elektrokardiogramm mit den Zacken *P*, *R* und *T*. Die Ausmessung der zeitlichen Verhältnisse<sup>1)</sup> ergibt folgendes:

Vom Beginne der Zacke *P* bis zum Beginne der Zacke *R*:

0,170 Sek.

Vom Beginne von *R* bis zum Ende von *T* (Systole): 0,331 Sek.

Vom Ende von *P* bis zum Beginne von *R* (Überleitungszeit):

0,066 Sek.

Dauer der Zacke *P*: 0,104 Sek.

Dauer der Zacke *R*: 0,038 Sek.

Die obere Kurvenlinie der Fig. 2 zeigt wiederum den Karotispuls. Zwischen dem Beginne von *R* und dem Beginne des Karotispulses ist eine Zeit von 0,127 Sek. verflossen. Da wir nun oben gesehen haben, dass der I. Spitzenton 0,099 Sek. vor dem Karotispuls beginnt, so ergibt sich, dass die *R*-Zacke in diesem Falle um 0,028 Sek. früher als der I. Ton begonnen hatte. Da nun weiter die Dauer der Zacke *R* 0,038 Sek. betrug, so ist zu ersehen, dass der erste Spitzenton 0,01 Sek. vor dem Ende von *R* begonnen hatte, also sein Beginn in das Ende des absteigenden Schenkels von *R* gefallen war.

Da der erste Spitzenton eine mittlere Dauer von 0,109 Sek. hatte (= ca. 2,3 der Seite eines kleinen Quadrates der Kurve), so erkennt man, dass er zu einer Zeit vorüber war, zu welcher die Nachschwankung *T* anzusteigen begann. Das ist auch annähernd der Moment des Anstieges des Karotispulses.

Zieht man weiter von der Dauer der Systole mit 0,331 Sek. die Dauer der *R*-Zacke mit 0,038 Sek. ab = 0,293 Sek., so zeigt sich, dass dieser letztere Zeitwert um 0,041 Sek. kleiner ist als die Distanz zwischen den Anfängen der beiden Spitzentöne. Berücksichtigt man aber auch, dass der erste Spitzenton 0,01 Sek. vor dem Ende von *R* beginnt, so lässt sich der Beginn des zweiten Tones mit 0,031 Sek. nach dem Ende der Nachschwankung *T* ansetzen.

Man sieht, dass wir hier zu Resultaten gelangen, welche mit den seinerzeit vorläufig von mir<sup>2)</sup> mitgeteilten sehr befriedigend übereinstimmen. Der erste Spitzenton beginnt gegen das Ende der

---

1) Vgl. hierzu: R. H. Kahn, Zeitmessende Versuche am Elektrokardiogramme. Pflüger's Arch. Bd. 132 S. 209. 1910.

2) A. a. O. Pflüger's Arch. Bd. 129.

*R*-Zacke, der zweite mehrere Hundertstel einer Sekunde nach der Nachschwankung. Der erste Ton endet am vorderen Fusse der Nachschwankung, annähernd zur Zeit des Anstieges des Karotispulses.

Wir gehen nun dazu über, die Resultate der Registrierung der Pulmonaltöne zu besprechen. Zu letzterem Behufe wurde der Aufnahmestrichter im zweiten Interkostalraume links, hart neben dem Sternum, auf die Brustwand gesetzt. Fig. 3 der Taf. XVII zeigt ein Beispiel der so gewonnenen Resultate. Man unterscheidet auch hier ohne weiteres den ersten vom zweiten Pulmonaltone. Die gelegentlich etwas stärkere Unruhe der Saite während der Pausen ist vermutlich auf äussere, vorläufig nicht vermeidbare Ursachen zurückzuführen.

Auch hier führe ich die aus einer grösseren Reihe registrierter Töne gemessenen Werte für die Dauer derselben an. Die Dauer des I. Pulmonaltones beträgt 0,095, die des zweiten Tones 0,068 Sek. Die Distanz zwischen dem Beginne beider beträgt 0,308 Sek.

Auch in diesen Fällen wurde nach der oben angegebenen Methode der Karotispuls verzeichnet. Zwischen dem Beginne des I. Pulmonaltones und dem Momente des Anstieges des Karotispulses vergeht eine Zeit von 0,078 Sek.

Die in Fig. 1 der Taf. XVII vorgeführte Reihe der Spitzentöne, das Elektrokardiogramm (Fig. 2) und die eben besprochene Kurve der Pulmonaltöne wurden von demselben Individuum unmittelbar hintereinander gewonnen. Daher ist es gestattet, ebenso wie oben die Spitzentöne, hier die Pulmonaltöne bezüglich ihres zeitlichen Verhaltens auf das Elektrokardiogramm zu beziehen.

Wir haben oben gesehen, dass in dem letzteren zwischen dem Beginne von *R* und dem Beginne des Karotispulses eine Zeit von 0,127 Sek. verfloßen war. Da nun der I. Pulmonalton 0,078 Sek. vor dem Anstiege des Karotispulses beginnt, so fällt der Anfang der *R*-Zacke 0,049 Sek. vor den Beginn des I. Pulmonaltones. Da nun weiter die Dauer der *R*-Zacke 0,038 Sek. betrug, so ergibt sich, dass der I. Pulmonalton 0,011 Sek. nach dem Ende der Zacke *R* einsetzt.

Der erste Pulmonalton hatte eine Dauer von 0,095 Sek. = ca. das Doppelte der Seite eines kleinen Quadrates der Kurve. Daher erkennt man, dass auch er, ebenso wie es oben vom I. Spitzenton gezeigt wurde, zu Beginn des Anstieges der Nachschwankung vor-



über ist, also zu einer Zeit, in welcher etwa der Anstieg des Karotispulses beginnt.

Vergleicht man wiederum die Zeit, welche zwischen dem Ende der *R*-Zacke und dem Ende der Systole verfliesst (Dauer der Systole 0,331 Sek., Dauer der *R*-Zacke 0,038 Sek. = 0,293 Sek.), mit der Distanz des Beginnes der beiden Pulmonaltöne (0,308 Sek.) und berücksichtigt den Umstand, dass der I. Pulmonalton 0,011 Sek. nach dem Ende von *R* beginnt, so zeigt sich, dass der Beginn des II. Pulmonaltones 0,026 Sek. hinter das Ende der Nachschwankung *T* fällt.

Wir sehen also, dass auch für die Pulmonaltöne der oben erwähnte, von mir früher erhobene Befund sich mit der eben vortragenen Methode bestätigen lässt. Der I. Pulmonalton beginnt am Ende der *R*-Zacke des Elektrokardiogrammes und dauert bis zum Anfange der Nachschwankung, der II. Pulmonalton setzt mehrere Hundertstel einer Sekunde nach dem Ende der Nachschwankung ein.

Betrachtet man registrierte Herztonreihen eines und desselben Individuums, so fällt es regelmässig auf, dass die Distanz der beiden Spitzentöne eine etwas grössere ist als die der Pulmonaltöne. Diese bereits von Einthoven und Geluk<sup>1)</sup> hervorgehobene Tatsache ist auch in den oben vorgeführten Kurven zu bemerken. Indessen finde ich den Unterschied viel kleiner als diese Autoren. Denn während dort angegeben ist, dass der I. Gefässtone 0,06 Sek. nach dem I. Spitzentone erscheint, beträgt die Differenz in unseren Kurven 0,026 Sek. In Einthoven's<sup>2)</sup> Besprechung der mit dem Saitengalvanometer registrierten Herztonreihen ist von diesem Unterschiede nicht mehr die Rede. Wenn Weiss<sup>3)</sup> aus diesen Kurven Einthoven's die in Rede stehende Erscheinung herauslesen will, so beruht das auf einem Irrtum. Denn die von ihm angeführten beiden Einthoven'schen Kurven (Fig. 4 und 6 Einthoven's) stammen von zwei verschiedenen Personen mit ganz verschiedener Pulsfrequenz und sind daher miteinander diesbezüglich nicht vergleichbar. Auch konnten Weiss und Joachim<sup>4)</sup> mit ihrer Methodik Einthoven's Resultat nicht bestätigen.

1) A. a. O. S. 630.

2) Pflüger's Arch. Bd. 117.

3) Phonokardiogramme S. 13.

4) Pflüger's Arch. Bd. 123 S. 365.

Was nun das zeitliche Verhältnis zwischen dem Beginne der Herztöne und dem Anfange des Karotispulses anlangt, so geht, wie schon erwähnt, aus unseren Kurven hervor, dass der I. Spitzenton 0,099, der I. Pulmonalton aber 0,078 Sek. vor dem Karotispulse beginnt. Das sind Zeitwerte, welche mit den von Weiss und auch von Gerhartz angegebenen ganz gut übereinstimmen. Man bemerkt, dass diese Zeitdifferenz zwischen I. Ton und Karotispuls annähernd der Dauer der I. Herztöne entspricht, ein Umstand, auf welchen wir später noch zu sprechen kommen.

Die Betrachtung der Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme gibt nun bezüglich der Frage Aufschluss, ob etwa in dem I. Herztöne ein Vorhofsanteil enthalten sein könnte, bzw. ob die gelegentlich zu beobachtende Spaltung des I. Tones auch auf solcher Grundlage beruhe. Hier ist zunächst der „Vorton“ Hürthle's<sup>1)</sup> zu erwähnen. Hürthle findet bei der Markierung des Beginnes des I. Herztones gelegentlich einen etwa 0,05 Sek. dauernden Vorton, welchen er im Hinblick auf sein zeitliches Verhältnis zur Kammer-systole als Vorhofston anspricht. Auch führt er die oben erwähnte, bedeutende zeitliche Differenz zwischen dem Beginne des I. Spitzen- und Pulmonaltones (0,06 Sek.) in den Versuchen Einthoven's auf dieselbe Ursache zurück, indem er vermutet, dass der Vorton sich leichter durch die Ventrikelmuskulatur fortpflanze, als in die grossen Gefässe, welche ausserdem der Brustwand weniger dicht anliegen, als die Herzspitze. Dabei bezieht sich Hürthle darauf, dass von Krehl<sup>2)</sup> am blossgelegten Tierherzen während des Flimmerns der Kammern bei schlagenden Vorhöfen Vorhoftöne vom Charakter des Herzmuskeltones gehört wurden.

Dieser Anschauung stimmt Weiss<sup>3)</sup> zu. Er führt Herztönenkurven vor, welche einen „Vorschlag“ erkennen lassen, welcher dem Karotispulse um mehr als 0,075 Sek. vorangeht. Weiss ist der Meinung, dass dieser Vorschlag, ebenso wie Hürthle's Vorton und Einthoven's Differenz zwischen dem Beginne des I. Spitzen- und Pulmonaltones vom Vorhof herrühre. Was die Spaltung des I. Herztones anlangt, so findet sich ein Beispiel hierfür bei Weiss<sup>4)</sup>. Die

---

1) K. Hürthle, Beiträge zur Hämodynamik. Pflüger's Arch. Bd. 60 S. 263. 1895.

2) L. Krehl, Über den Herzmuskelton. Du Bois' Arch. 1889 S. 253.

3) Phonokardiogramme S. 26.

4) Phonokardiogramme S. 32.

ersten Schwingungen des ersten Tones beginnen 0,1125 Sek. vor dem Karotispulse. Nach einigen grösseren Schwingungen erfolgt eine Abnahme der Amplituden, danach wieder eine Zunahme. Diese geht dem Karotispuls um 0,065 Sek. voraus. Die erste Hälfte der Tonkurve soll nach Weiss vom Vorhofe die zweite vom Ventrikel berühren. Bei Joachim und Weiss<sup>1)</sup> finden sich weitere Beispiele. Zunächst die eben erwähnte Kurve wiederholt, nur sind hier die Zeitangaben andere. Hier heisst es nämlich, dass die ersten Schwingungen 0,125 Sek., die zweiten nach der „Cäsur“ ca. 0,8<sup>2)</sup> Sek. vor dem Karotispuls einsetzen. Ein weiterer Fall zeigt vor den grossen Schwingungen des I. Tones, welche dem Karotispulse um 0,08 Sek. vorausgehen, mehrere minimale Schwingungen, und in einem dritten Falle beginnt der I. Ton etwa 0,115 Sek. vor dem Karotispulse. In allen diesen Fällen wird der erste Teil des ganzen Tones auf den Vorhof bezogen.

Die Möglichkeit der Annahme, dass gewisse Anteile des I. Herztones vom Vorhofe herrühren, lässt sich von zweckmässigem Standpunkte aus prüfen, wenn man die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme betrachtet. Dazu eignet sich mit Vorteil die Anwendung der von mir<sup>3)</sup> bereits früher mit Erfolg angewendeten Methode der gleichzeitigen Verzeichnung von Elektrokardiogramm und Herztönen mit derselben Saite.

In der nachstehenden Fig. 1 sieht man ein Schema der dazu nötigen Versuchsanordnung, welche gegenüber meiner früheren wesentlich verbessert ist. *A* und *B* sind zwei Vorreiberschlüssel. Die eine Metallbacke (*b*) des einen ist mit der einen Metallbacke (*b*) des anderen durch einen Draht (*d*) leitend verbunden. Von den beiden freien Backen der Schlüssel (*b*<sub>1</sub>) ist zum Galvanometer (*G*) abgeleitet. Ausserdem münden in den Schlüssel *A* die Drähte der beiden Elektroden *E* und *E*<sub>1</sub>, in welche die Extremitäten der Versuchsperson eintauchen, und in den Schlüssel *B* die Ableitungsdrähte der II. Spule eines kleinen Schlitteninduktoriums. Die I. Spule desselben durchläuft nach Schliessung des Schlüssels *S* der Mikrophonstrom, welcher von einer Akkumulatorzelle (*Z*) geliefert wird. Die

---

1) Deutsches Arch. f. klin. Med. S. 535.

2) Soll heissen 0,08.

3) Pflüger's Arch. Bd. 129.

Herztöne werden von derselben Versuchsperson mit dem Trichter *T* abgeleitet und dem Mikrophon (*M*) zugeführt.

Diese Vorrichtung gestattet in bequemer Weise bei geschlossenem Schlüssel *A* die Herztöne, bei geschlossenem Schlüssel *B* das Elektrokardiogramm zu registrieren. Hält man aber beide Vorreiberschlüssel offen, so verursachen sowohl die Aktionsströme des Herzens als auch die Sekundärströme aus der II. Spule Saitenausschläge, indem die ersteren die II. Spule, die letzteren den Körper der Versuchsperson

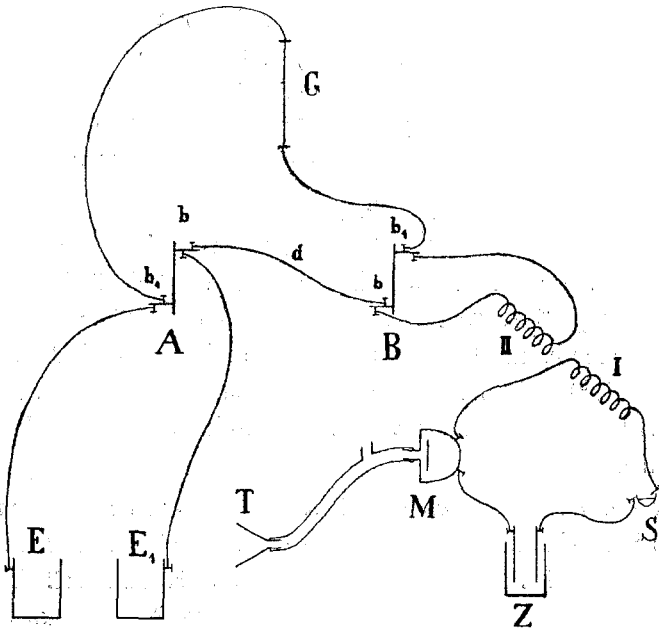


Fig. 1.

passieren. Trotz einiger theoretisch vorhandener Fehlerquellen (Selbstinduktion in der I. Spule) sind die auf solche Weise erzielten Resultate bezüglich der zeitlichen Verhältnisse zwischen Elektrokardiogramm und Herztönen ganz befriedigend.

Die Saite des Galvanometers macht nun Ausschläge, welche dem Elektrokardiogramme und den Herztönen entsprechen. Die gegenseitigen zeitlichen Verhältnisse beider Erscheinungen sind ganz korrekt wiedergegeben. Zwar verliert man bei der Registrierung der Herztöne jene Zeit, welche vom Momente des Entstehens des Herztones bis zum Anlangen der Luftschwingungen des Schalles im Mikrophon vergeht. Indessen handelt es sich dabei bei einer Schlauchlänge von

50—75 cm um einen Zeitwert, welcher einen zu vernachlässigenden Betrag nicht überschreitet.

Ein Beispiel einer solchen Registrierung bei gleichzeitiger Aufnahme des Karotispulses sieht man in Fig. 4 der Taf. XVII. Man erkennt die drei Zacken *P*, *R* und *T* des Elektrokardiogrammes. Infolge des Umstandes, dass die Saite nicht völlig ruhig war, finden sich gelegentlich kleine Zacken, welche aber das genügende Hervortreten der Elektrokardiogrammzacken nicht stören. An den entsprechenden Stellen sieht man die Saitenschwingungen der Herztöne. Es handelt sich um Pulmonaltöne (der Aufnahmestricher war im zweiten linken Interkostalraum am Sternalrande angelegt), und man erkennt in der Kurve die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme, entsprechend den oben gegebenen Ausführungen. Der erste Ton beginnt kurze Zeit nach völligem Abstiege der *R*-Zacke und endet zur Zeit des Beginnes der Nachschwankung, der zweite Ton setzt einige Zeit nach dem Ende der Nachschwankung ein. Was das zeitliche Verhalten des ersten Tones zum Karotispulse anlangt, so stimmt auch dieses mit unseren früheren Ausführungen überein. Zwischen seinem Beginne und dem Anstiege des Karotispulses vergeht eine Zeit von ca. 0,08 Sek., er endet annähernd zur Zeit des Pulsbeginnes.

Über die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme und ihre Beziehung zum Ventrikeldrucke habe ich in meiner oben zitierten Arbeit eine schematische Darstellung gegeben. Dabei war die Beziehung der Herztöne zum Karotispulse nicht berücksichtigt.

In der nachstehenden Fig. 2 führe ich nun eine schematische Darstellung vor, welche in übersichtlicher Weise alle bisher erwähnten zeitlichen Beziehungen umfasst. Die einzelnen Abschnitte in der Abszisse bedeuten 0,05 Sek. Die mittlere senkrechte, mit *K* bezeichnete Gerade bedeutet den Moment des Beginnes des Karotispulses. Die Dauer der Zacken des Elektrokardiogrammes (*Ekg*) ist in der ersten, die der Spitzen- (*Spt*) und Pulmonaltöne (*Pt*) in der zweiten und die Dauer des Ventrikeldruckes (*Vd*) in der dritten Linie als schwarze, dicke Gerade eingezeichnet. Der Anfang der Nachschwankung des Elektrokardiogrammes sowie die Enden der Herztöne sind gestrichelt gezeichnet. Das soll bedeuten, dass sich für diese Punkte genaue Zeitmomente überhaupt nicht mit voller Sicherheit ausmessen lassen. Vielmehr beginnt die Zacke *T* sehr allmählich, und die Herztöne verschwinden, indem sich die ihnen entsprechenden Saitenausschläge in den Kurven verlieren.

Man erkennt in dem Schema deutlich, dass der I. Spitzenton früher beginnt als der I. Pulmonalton, und dass die Distanz des Beginnes der beiden Spitzentöne grösser ist als die der Pulmonaltöne. Der Moment des Druckanstieges im Ventrikel ist zugleich mit dem Ende von *R* eingezeichnet, ein Umstand, welcher von mir<sup>1)</sup> zuerst festgestellt worden ist. In der Linie des Ventrikeldruckes sehen wir vor dem Momente des Anstiegsbeginnes des Karotispulses

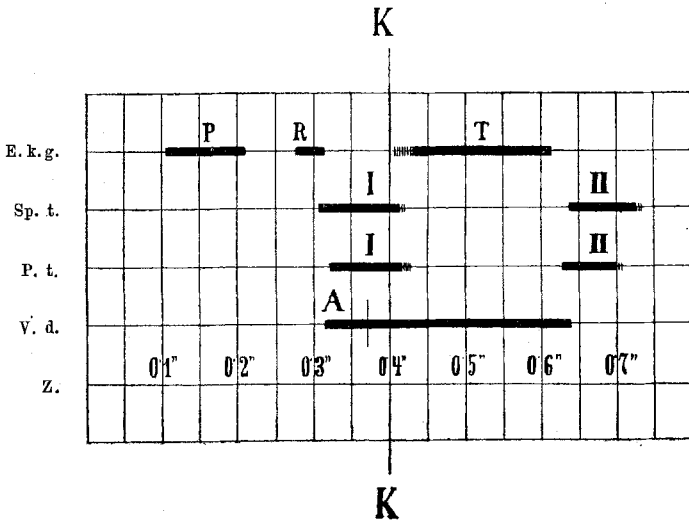


Fig. 2.

eine Marke, welche zeitlich 0,03 Sek. vor dem letzteren gelegen ist. Sie trennt die Anspannungszeit (*A*) des Ventrikels von der Ausbreitungszeit.

Betrachtet man die zwischen der Vorhofszacke des Elektrokardiogrammes und dem Beginne des I. Herztones verfließende Zeit, so bemerkt man, dass dieselbe im Verhältnis zu der Dauer des I. Herztones sehr gross ist. Wollte man den ersten Teil eines I. Herztones oder einen Vorschlag desselben als Vorhofsmuskelton deuten, so käme man zu ganz unwahrscheinlichen Zeiten.

Man hat allen Grund anzunehmen, dass der eine Muskelkontraktion im Herzen begleitende Ton ungemein rasch nach dem Auftreten der zugehörigen elektrischen Erscheinung bemerkbar sein wird<sup>2)</sup>. Es wäre also der Beginn eines Vorhofsmuskeltones sehr

1) Pflüger's Arch. Bd. 126.

2) Vgl. hierzu: R. H. Kahn, Pflüger's Arch. Bd. 132. S. 209. 1910.

bald nach dem Beginne der Vorhofsacke des Elektrokardiogrammes anzusetzen. Aber selbst für den Fall, dass ein solcher erst gegen das Ende der Zacke *P* entstehen sollte, würde der I. Herzton bzw. dessen erster Teil bei Spaltung desselben in grosser Distanz vor dem Karotispulse erscheinen.

So z. B. beträgt nach den obenstehenden Ausführungen die Zeit, welche vom Beginne der Vorhofsacke des Elektrokardiogrammes bis zum Ende von *R*, also etwa bis zum Beginne des I. Herztones verfliesst, 0,21, vom Ende der Vorhofsacke immer noch 0,11 Sek. Der I. Ton selbst aber dauert etwa 0,1 Sek. und beginnt etwa 0,085 Sek. vor dem Karotispuls. Ein Vorhofsmuskelton plus I. Kammerton müsste daher 0,3 oder im äussersten Falle 0,2 Sek., also etwa doppelt so lange dauern als letzterer allein und fast ebensolange Zeit vor dem Karotispuls beginnen. Daraus scheint mir hervorzugehen, dass der „Vorton“ Hürthle's mit 0,05 Sek. vor dem I. Herzton und die Differenz zwischen Spitzen- und Pulmonalton bei Einthoven mit 0,06 Sek. unmöglich, wie Weiss vermutet, ihre Ursache in einem Vorhofsmuskelton haben können. Dasselbe gilt auch mit grosser Wahrscheinlichkeit für den ersten Teil gespaltener erster Herztöne. Dass man bei geeigneter Versuchsanordnung (Krehl) einen Vorhofsmuskelton hören kann, beweist nicht, dass er unter normalen Verhältnissen zu hören ist.

Nichtsdestoweniger können aber die eben erwähnten Erscheinungen mit der Vorhofsaktion in letzter Linie zusammenhängen. Denn die Bewegung des Blutes aus dem Vorhofe in die Kammer, welche ja auch in der Ventrikeldruckkurve eine deutliche Druckerhöhung verursacht, kann ganz gut die Ursache dafür abgeben, dass kurz vor dem Eintritt des I. Herztones etwas gehört bzw. registriert werden kann. Welches dabei die Umstände sind, welche diese Erscheinung einmal hervortreten lassen, ein anderes Mal nicht, entzieht sich vorläufig der Beobachtung. Man wird also auf Grund der Betrachtung der Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme Hürthle's Vorton, Einthoven's Differenz zwischen dem Beginne der Spitzen- und Pulmonaltöne, die Vorschläge von Weiss und wohl auch den ersten Teil der gespaltene Herztöne nicht als Vorhofsmuskelton aufzufassen, sondern auf Umstände zu beziehen haben, welche mit dem Einströmen des Blutes aus dem Vorhofe in die Kammer zusammenhängen. Endlich aber ist auch der Um-

stand nicht ausser acht zu lassen, dass sich als erste Erscheinung bei der Kammertätigkeit die Kontraktion im Papillarsysteme des Herzens abspielt. Für diese ist ja vermutlich die *R*-Zacke des Elektrokardiogrammes der elektrische Ausdruck. Dass aus vorläufig nicht feststellbaren Ursachen ein Muskelton des Papillarsystemes gelegentlich gehört und registriert werden könnte, ist ebenfalls nicht ausgeschlossen.

Eine weitere bei Betrachtung der zeitlichen Verhältnisse zwischen Herztönen, Elektrokardiogramm, Ventrikeldruck und Karotispuls auffällige Erscheinung besteht in der langen Pause zwischen den beiden Herztönen. Man würde doch eigentlich erwarten, dass der erste Herzton, wenn man ihn im wesentlichen als Muskelton auffasst, die ganze Austreibungszeit hindurch andauere. Überblickt man aber die herrschenden Verhältnisse (Fig. 2), so fällt der Umstand auf, dass der I. Herzton wohl während der ganzen Anspannungszeit nachzuweisen ist, sich aber schon im ersten Teile der Austreibungszeit allmählich verliert. Dementsprechend fällt der erste Herzton in die Pause zwischen den Zacken *R* und *T* des Elektrokardiogrammes. Zur Zeit, zu welcher er endet, beginnt die Nachschwankung in demselben.

Sucht man nach einer Erklärung des Umstandes, dass der I. Herzton die Anspannungszeit des Ventrikels nur wenig überdauert, dass aber der grössere Teil der Austreibungszeit tonfrei ist, so drängt sich, wenn man den I. Ton wesentlich als Muskelton betrachtet, die Anschauung auf, dass eine Änderung des Zustandes der austreibenden Muskulatur die Ursache dafür abgeben könnte. Tatsächlich geht etwa in jenem Zeitabschnitte, in welchem der I. Herzton verschwindet, die Austreibungsmuskulatur aus der isometrischen Tätigkeit in die isotonische über. Ferner zeigt das in diese Zeit fallende Auftreten der Nachschwankung an, dass eine Änderung im Verhalten der Kammermuskulatur eingetreten ist. Es ist aber nicht in Abrede zu stellen, dass das geschilderte besondere zeitliche Verhalten, für sich allein betrachtet, eigentlich mehr dafür zu sprechen scheint, dass, wie manche<sup>1)</sup> glauben, der I. Herzton seine Ursache in Schwingungen der Klappen, bzw. der Herzwände oder des Blutes selbst habe, also in Erscheinungen, welche zur Zeit der Anspannung und im ersten Teile der Austreibung besonders ausgesprochen sein könnten.

---

1) Die Literatur über diesen Gegenstand ist in Nagel's Handb. d. Physiol. Bd. 1 S. 849 von Nicolai zusammengestellt.



Man sieht, dass man sich vorläufig damit begnügen muss, auf das Auffallende der besprochenen Erscheinung hingewiesen zu haben. Tierversuche mit gleichzeitiger Registrierung von Elektrokardiogramm, Herztönen und mechanischen Erscheinungen werden vielleicht nähere Aufklärung zu bringen geeignet sein. Das Material, über welches ich diesbezüglich verfüge, ist noch zu klein, um ein einigermaassen sicheres Urteil abzugeben; indessen kann ich das eine aussagen, dass beim Hunde die Lage der Herztöne im Elektrokardiogramme sowie die sonstigen oben für den Menschen besprochenen Verhältnisse dieselben zu sein scheinen. Auch gelingt die Registrierung der Herztöne bei Tieren nach Einthoven's Methodik aus verschiedenen Gründen in noch befriedigenderer Weise als beim Menschen.

---

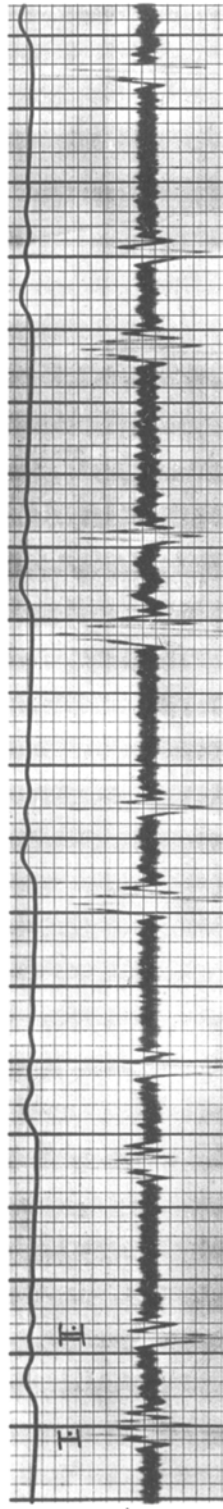


Fig. 1.

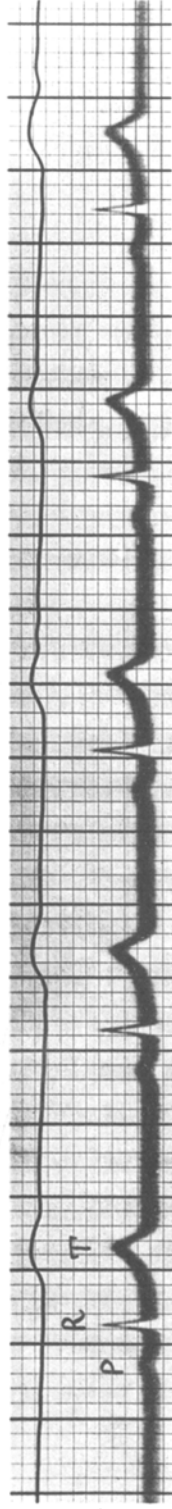


Fig. 2.

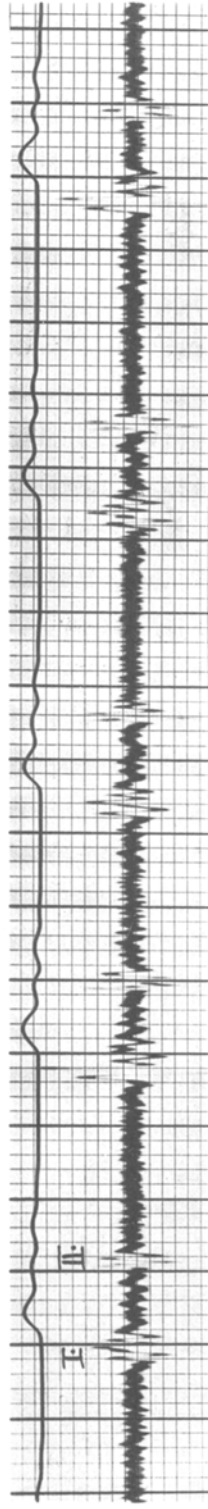


Fig. 3.

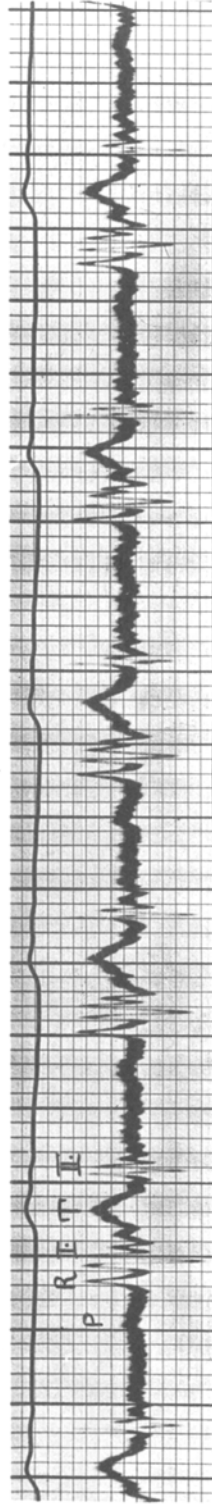


Fig. 4.